(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

**UO‘K:** 621.357.2:621.357.3 10.70769/3030-3214.SRT.3.2.2025.9

# NATRIY-OLTINGUGURTLI BATAREYALAR "SHUTTLE" EFFEKTINI KAMAYTIRUVCHI SOPOLIMERLI GELSIMON ELEKTROLIT SINTEZI






***Xakimov Farrux Shokirjonovich***

*DSc doktorant, Farg‘ona davlat texnika universteti, Farg‘ona, O‘zbekiston*
*E-mail: xakimov_farrux@list.ru*
*ORCID ID: 0000-0001-6339-3946*

***Jalolov Jasurbek Mahmudjon o‘g‘li***

*Assistent, Farg‘ona davlat texnika universteti, Farg‘ona, O‘zbekiston*
*E-mail: jasurbekjalolov777@gmail.com*
*ORCID ID: 0009-0009-2926-2219*

***Xamdamova Shoxida Sherzodovna***

*O‘quv ishlari bo‘yicha prorektor, DSc, professor, Oziq-ovqat texnologiyasi va muhandisligi xalqaro instituti, Toshkent, O‘zbekiston*
*E-mail: hamdamova79@list.ru*
*ORCID ID: 0000-0002-0614-8263*

***Maksumova Oyto‘ra Sitdikovna***

*K.f.d., professor, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O‘zbekiston*
*E-mail: omaksumovas@mail.ru*
*ORCID ID: 0009-0008-0548-395X*

***Annotatsiya.*** *Plastifikatsiyalangan akrilonitril (AN)-metil akrilat (MA) sopolimerlari asosidagi gel polimer elektrolitdan samarali natriy-oltingugurt batareyalari (Na-SB) uchun istiqbolli yechim sifatida taklif etilgan. Ushbu ishda, AN-MA sopolimer tarkibi va suyuq elektrolit miqdori optimallashtirilgan holda, ichki qarshiligi 1Omgacha bo‘lgan polimer elektrolitlar ishlab chiqilgan. Bu elektrolitlar natriy elektrodlarining yuzasiga "shuttle" effekti ta'sirida oqib o‘tuvchi oltingugurtni sezilarli darajada kamaytirib, elektrokimyoviy barqarorlikni oshirgan. Skanerli elektron mikroskopiya (SEM) va energiya dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS) yordamida sopolimer va gel elektrolitning sirt tasviri va elementar tahlili amalga oshirildi. Gel elektrolit tarkibidagi suyuq elektrolitning ortishi bilan yuzaning tekislanishi (amorflanishi) ko‘rsatildi. Gel elektrolitda ortiqcha yoki kam suyuq elektrolitning bo‘lishi "shuttle" effektini oshib ketishiga sabab bo‘lishi aniqlandi.*

***Kalit so‘zlar:*** *ichki qarshilik, elektrokimyoviy barqarorlik, natriy oltingugurtli batareya, passivatsiya, polimer elektrolit, sopolimer gel elektroliti, oqava suv tuzidan kompozit katod, energiya saqlash tizimi, uglerod nanoquvurlari, "shuttle" effekti, nominal solishtirma sig‘imi.*

# НАТРИЙ-СЕРНЫЕ БАТАРЕИ СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРНОГО ГЕЛЕОБРАЗНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА, УМЕНЬШАЮЩЕГО ЭФФЕКТ «SHUTTLE»

***Хакимов Фаррух Шокиржонович***

*Докторант, Ферганский государственный технический университет, Фергана, Узбекистан*

***Джалолов Джасурбек Махмуджон угли***

*Ассистент, Ферганский государственный технический университет, Фергана, Узбекистан*

***Хамдамова Шохида Шерзодовна***

*Проректор по учебной работе, доктор наук, профессор, Международный институт пищевых технологий и инжиниринга, Ташкент, Узбекистан*

***Максумова Ойтора Ситдиковна***

*Доктор наук, профессор, Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан*

***Аннотация.*** *В качестве перспективного решения для эффективных натрий-серных аккумуляторов (Na-SB) предложен гелеобразный полимерный электролит на основе пластифицированных сополимеров акрилонитрила (AN) и метилакрилата (MA). В данной работе*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

*были разработаны полимерные электролиты с внутренним сопротивлением до 1 Ом путем оптимизации состава сополимера AN-MA и содержания жидкого электролита. Эти электролиты значительно уменьшили количество серы, поступающей на поверхность натриевых электродов за счет «челночного» эффекта, что повысило электрохимическую стабильность. Визуализация поверхности и элементный анализ сополимера и гелевого электролита проводились с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС). Было продемонстрировано сглаживание поверхности (аморфизация) при увеличении содержания жидкого электролита в геле-электролите. Было обнаружено, что присутствие слишком большого или слишком малого количества жидкого электролита в гелеобразном электролите приводит к усилению челночного эффекта.*

***Ключевые слова:*** *внутреннее сопротивление, электрохимическая стабильность, натрий-серный аккумулятор, пассивация, полимерный электролит, сополимерный гелевый электролит, композитный катод из соли сточных вод, система накопления энергии, углеродные нанотрубки, челночный эффект, номинальная удельная емкость.*

# SODIUM-SULFUR BATTERIES SYNTHESIS OF A GEL-LIKE ELECTROLYTE WITH A COPOLYMER THAT REDUCES THE “SHUTTLE” EFFECT

***Khakimov Farrukh Shokirjonovich***
*Doctoral student, Fergana State Technical University, Fergana, Uzbekistan*

***Jalolov Jasurbek Makhmudjon ugli***
*Assistant, Fergana State Technical University, Fergana, Uzbekistan*

***Khamdamova Shokhida Sherzodovna***
*Vice-Rector for Academic Affairs, Doctor of Sciences, Professor, International Institute of Food Technology and Engineering, Tashkent, Uzbekistan*

***Maksumova Oytora Sitdikovna***
*Doctor of Sciences, Professor, Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan*

***Abstract.*** *A gel polymer electrolyte based on plasticized acrylonitrile (AN)-methyl acrylate (MA) copolymers is proposed as a promising solution for efficient sodium-sulfur batteries (Na-SB). In this work, polymer electrolytes with an internal resistance of up to 1 Ohm were developed by optimizing the AN-MA copolymer composition and the amount of liquid electrolyte. These electrolytes significantly reduced the sulfur migration to the surface of sodium electrodes due to the “shuttle” effect, increasing electrochemical stability. Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) were used to image the surface and perform elemental analysis of the copolymer and gel electrolyte. It was shown that the surface flattening (amorphization) occurred with an increase in the liquid electrolyte content of the gel electrolyte. It was found that the presence of excess or deficiency of liquid electrolyte in the gel electrolyte caused an increase in the “shuttle” effect.*

***Keywords:*** *Internal resistance, electrochemical stability, sodium-sulfur battery, passivation, polymer electrolyte, copolymer gel electrolyte, composite cathode from wastewater salt, energy storage system, carbon nanotubes, shuttle effect, nominal specific capacity.*

**Kirish.** Mamlakatimiz va jahon atmosferasining keskin yomonlashuvi inson salomatligiga salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda [1]. Shu sababdan ko‘plab chiqindisiz va energiyatejamkor texnologiyalarga bo‘lgan talab keskin oshmoqda [2-4]. Shuningdek, hozirda alternativ energiya manbalaridan olinadigan energiyani yig‘ish va saqlash ham olimlar oldida turgan muhim masalalardan bo‘lib turibdi [6]. Buning uchun hozirda ommalashgan litiy-ion batareyalari (LIBs) zamonaviy energiya saqlash tizimlarida keng qo‘llanilsada, ularning energiya zichligi yangi avlod texnologiyalarining talablarini to‘liq qondira olmaydi [7]. Shu sababli, litiy-oltingugurt batareyalari (LSBs) yuqori nazariy quvvat sig‘imi (1675 $mAh \cdot g^{-1}$) va energiya zichligi (2567 $Wh \cdot kg^{-1}$) tufayli istiqbolli

alternativ sifatida qaralmoqda [8–11]. Biroq, LSBs ning tijoratlashtirilishi polisulfidlarning “shuttle” effekti, oltingugurtning past elektr o‘tkazuvchanligi va hajm kengayishining katta miqdori kabi muammolar tufayli cheklanmoqda. Bu muammolarni bartaraf etish uchun turli strategiyalar, jumladan, kompozit katodlar, modifikatsiyalangan ajratgichlar va gel polimer elektrolitlari (GPEs) keng o‘rganil-gan [12,13].

Gel polimer elektrolitlari (GPEs) suyuq elektrolitlarning yuqori ion o‘tkazuvchanligi va qattiq polimer elektrolitlarning mexanik barqarorligini birlashtirgan holda, LSBs uchun istiqbolli yechim sifatida taklif etilgan. Plastifikatsiyalangan akrilonitril (AN)-metil akrilat (MMA) sopolimerlari asosidagi GPEs yuqori ion o‘tkazuvchanligi ($10^{-3}$ S/cm), litiy elektrodlarining passivatsiyasini kamaytirish va elektrokimyoviy barqarorlikni oshirish xususiyatlariga ega. Bundan tashqari, PVDF-HFP gel elektroliti yordamida oltingugurt katodida yupqa va zich qoplamalar hosil qilinishi mumkin, bu esa polisulfidlarning “shuttle” effektini sezilarli darajada kamaytiradi [14].

Litiy zahiralarining cheklanganligi va mahalliy natriy va oltingugurt zahiralarining mo‘lligi sababli ushbu tadqiqot ishimizda natriy-oltingugurtli batareyalar (Na-SB) uchun elektrolit ishlab chiqilgan. AN-MA sopolimerlari asosidagi plastifikatsiyalangan polimer elektrolitlar va chiqindi suvidan olingan Na-Sli tuzdan tarkib topgan kompozit katod sintez qilindi. Uglerod nanoquvurlari (CNQ) o‘tkazuvchan skelet sifatida ishlatilib, elektron o‘tkazuvchanlikni oshirish va elektrokimyoviy faol materiallardan samarali foydalanish ta’minlandi. Tayyorlangan kompozit katodlar yuqori quvvat sig‘imi 0.1C – 3C tezlikda 180 mAs $g^{-1}$ nominal solishtirma sig‘imni namoyish etdi. Bu yondashuv Na-SB larning tijorat qo‘llanilishi uchun yangi imkoniyatlarni ochadi va energiya saqlash tizimlarining rivojlanishiga hissa qo‘shadi. Shuningdek, tadqiqotda AN-MA sopolimerlari asosidagi polimer elektrolitlarning sintezi, tavsifi va ularning elektrokimyoviy xususiyatlaridan ichki qarshiligi o‘rganildi. Qolaversa, chiqindi suvdan olingan Na-S tuzi fraksiyasidan [15] katod tayyorlandi va ularning Na-SB lardagi samaradorligi baholandi. Natijalar, ushbu materiallarning yuqori ion o‘tkazuvchanligi, mexanik barqarorligi va “shuttle” effektini kamaytirish qobiliyati Na-SB larning amaliy qo‘llanilishi uchun katta imkoniyatlar ekanligini ko‘rsatdi.

**Tajriba qismi.** ***Sopolimer sintezi.*** Yuqori tozalikdagi akrilonitril (AN) va metil akrilat (MA) monomerlari Navoiyazot AJdan tomonidan taqdim etildi va vakuum ostida haydash orqali polimerlanish ingibitorlaridan tozalab olindi. Poli(akrilonitril-so-metil akrilat) (P(AN-so-MA)) sopolimeri dimetil formamid (DMF) erituvchisi muhitida azobisizobutironitril (AIBN) inisiatori hamda 2-merkaptoetanol zanjir uzatish agenti ishtirokida polimerlash usuli bilan sintez qilindi [2].

***Suyuq elektrolit sintezi.*** $NaClO_4$ [15] ning 1 molyarli elektrolitdagi eritmasi tayyorlanib, unda sintez qilib olingan sopolimer bo‘ktirildi va gelsimon holatga keltirildi.

***Batareyani ishlab chiqarish.*** Olingan gel elektrolitni tekshirish uchun Swagelok tipidagi batareya namunasi ishlab chiqildi. Elektrolit natriy ionlariga nisbatan oksidlanadigan hamda qaytariladigan elektrodlar (mos ravishda natriy-oltingugurtli katod hamda uglerodli anod) orasiga joylashtiriladi.

***Gel elektrolit sirt yuzasining tahlili.*** Olingan sopolimer va tijorat poliakrilonitril na’munalarining mikro tuzilmalari maydon emissiya skanerlash elektron mikroskopiyasi (FESEM, Gemini SEM 500) va yuqori aniqlikdagi transmissiya elektron mikroskopiyasi (HRTEM, FEITalos F200X) bilan tahlil qilindi. Element taqsimoti energiya dispersli rentgen spektroskopiyasi (EDS) bilan jihozlangan SEM tomonidan tahlil qilindi.

***Batareyaning elektr xususiyatini aniqlash.*** Batareyaning ichki qarshiligi va kuchlanishi PeakTech 3320 (Germaniya) raqamli multimetri yordamida aniqlandi. Oddiy multimetr bilan ham batareyalarning kuchlanishi va qarshiligi aniqlandi. Bunda ushbu tipdagi elektrolitning [30] Na-SBlarda qo‘llagan holda elektr xususiyatlari aniqlandi.

*Ichki qarshilikni o‘lchash* uchun elektrolit natriy ionlariga nisbatan oksidlanadigan hamda qaytariladigan elektrodlar (mos ravishda natriy oltingugurtli katod hamda uglerodli anod) orasiga joylashtiriladi. So‘ng quyidagi metodologiya yordamida ularning ichki qarshiliklari aniqlanadi.

Elementni zaryadlash uchun LC03222 seriya nomerli “AC/DC power supply pro 0...12V/3A” qurilmasidan, ichki qarshilikni o‘lchash uchun multimetr hamda kompyuterlashgan “Power

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

Analyser CASSY T27/100" seriyali qurilmasida amalga oshirildi.

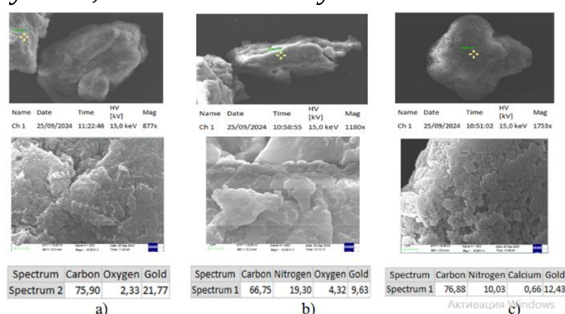
Avval tahlil qilinayotgan batareya 5 V kuchlanish va 3 A tok kuchida ishlovchi zaryadlagich bilan zaryadlanadi. Keyin polimerning ichki qarshiligi qiymatini multimetr yoki kompyuterlashgan qurilma yordamida topilgan kuchlanish va tok kuchi qiymatlariga asoslanib Om qonuniga binoan quyidagi formula yordamida hisoblab topiladi va alternativlari bilan solishtirilgan holda optimal tarkib aniqlanadi:

$$R_i = (U_1-U_2)/(U_2/R_a) \quad (1)$$

$$R_i = (U-IR_a)/I \quad (2)$$

bu yerda $R_a$ - aktiv qarshilik, $U_1$ - boshlangʻich kuchlanish, $U_2$ - yuklama (aktiv qarshilik) ulangandan keyingi qarshilik, I - oqib oʻtayotgan tok.

**Natijalar va munozara.** *3.1. Sopolimerning sirt yuzasi, tarkibi va xususiyatlari.*




***1-rasm. P(AN-co-MMA) sopolimerining SEM-EDS tasviri va sirtining oltin purkalgan holdagi elementar tahlili:***

*a) quruq P(AN-so-MA) b) boʻktirilgan P(AN-so-MA) c) tijoratlashtirilgan PAN.*

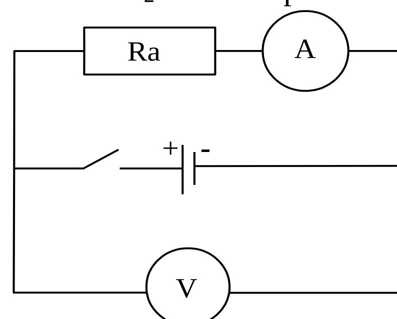
SEM-EDS laboratoriya instrumenti yordamida sintez qilib olingan P(AN-so-MA) sopolimerining sirt yuzasi tahlili amalga oshirilib, tarkibi aniqlangan. 1-rasmda koʻrsatilganidek, polimerga MA monomerining kiritilishi uning amorfligini oshiradi, bu esa uning plastifikatorlarda eruvchanligini yaxshilaydi, shishalanish harorati (Tg) ning esa pasayishiga olib keladi. Bu xususiyatlar bilan u elektrolit sifatida foydalanishda poliakrilonitrildan afzalroqligi aniqlandi. Chunki, sopolimer boʻkuvchanligi Navoiyazot AJ tomonidan ishlab chiqilgan PANga nisbatan yuqori bo ʻlib, bu uning suyuq elektrolit molekulalarini oʻzida tutib tura olish xususiyatini ifodalaydi. Bu esa yaxlit yuza hosil qilib, oltingugurt harakatiga toʻsqinlik qiladi, natriy ionining harakatlanishiga toʻsqinlik qilmaydi. 1-rasmda koʻrsatilganidek, sopolimer boʻktirilganda uning sirt yuzasiga azotning chiqishi sodir boʻlib, bu akrilonitril azotining natriy bilan ta'sirlashuvini yaxshilaydi va elektr oʻtkazuvchanlikka ijobiy ta'sir ko ʻrsatadi.

79 wt.% dan yuqori suyuq elektrolit qoʻshilganda, polimer elektrolitlarning mexanik mustahkamligi pasayadi. Shishalanish harorati (Tg) suyuq elektrolit miqdori ortishi bilan pasayadi. Sopolimerning plastifikatorsiz shishalanish harorati esa 12.5°C (100% MA boʻlgan holda) dan 104°C (100% AN boʻlgan holda) gacha oʻzgaradi. Yuqori miqdorli suyuq elektrolit matritsa polimerini plastifikatsiyalash va ionlarni oʻtkazish uchun mahalliy yoʻllar yaratadi. Na-SBlar uchun ushbu tipdagi gel elektrolitni qoʻllashda esa suyuq elektrolitning keragidan ortiq boʻlishi erituvchi orqali oltingugurtning katoddan anodga oqib oʻtishi, ya'ni "shuttle" effektini ham tezlashtirib yuboradi, bu esa anodning tez aktivsizlanib qolishiga sabab boʻladi.

SEM-EDS tahlilida oltinni na'muna sirtiga purkash orqali hosil qilingan qoplama zaryadni kamaytiradi va oʻtkazuvchan boʻlmagan namunaning tepasida oʻtkazuvchan qatlamni hosil qilish orqali SEMda sirtni yuqori aniqlikda tasvirlash imkonini beradi.

*Gelsimon elektrolit elektr xususiyatlarini oʻrganish*

Qisqa tutashuv boʻlmasligi uchun standart yuklama qarshilik (0,1 Om yoki 1 Om yoki 10 Omli) sxemaga ulanadi (2-rasmlarga qarang). Soʻng ushbu sxemadagi (1) va (2) formulalar uchun kerakli boʻlgan oʻzgaruvchilar $U_2$ va I lar topiladi.




***2-rasm. Multimetr yoki kompyuterlashgan power analyser Cassy T27/100 seriyali qurilmasiga tahlil qilinayotgan batareyaning ulanishi sxematik tasviri.***

Ushbu tahlil usulining grafik (a) hamda sxematik (b) tasviri 1-rasmda ifodalangan. Topilgan qiymatlardan ikkala formula orqali olingan eng

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 2
2025

yaqin qiymatlar ajratib olinadi. Olingan $U_2$ va I lar (1) va (2) formularga qo‘yilib mos ravishda batareyaning ichki qarshiligi ($R_i$) aniqlandi. 1,5 V kuchlanishga ega batareyalar uchun ichki qarshilik miqdori 1 Omdan kichkina bo‘lishi talab etiladi [16,17].

Shu bilan birgalikda gel elektrolitning suyuq komponentlarining minimal qiymatiga erishish kerak bo‘ladi. Shu bois bu usul bilan keraklicha ichki qarshilikka ega bo‘lgan optimal tarkib aniqlanadi. Eritmada tuzning konsentratsiyasi ortishi bilan uning o‘tkazuvchanligi ortib, batareyaning ichki qarshiligi kamayib boradi, biroq ma’lum bir konsentratsiyaga yetgach uning qarshiligi yana orta boshlaydi (1-jadvalga qarang), bunga elektrolitning qovushqoqligi ortishi, gidratlangan ion juftlari hosil qilishi, hamda ma’lum zaryadga ega bo‘lgan zarrachalar bulutining qarshiligini sabab qilib ko‘rsatilgan [18].

1-jadval

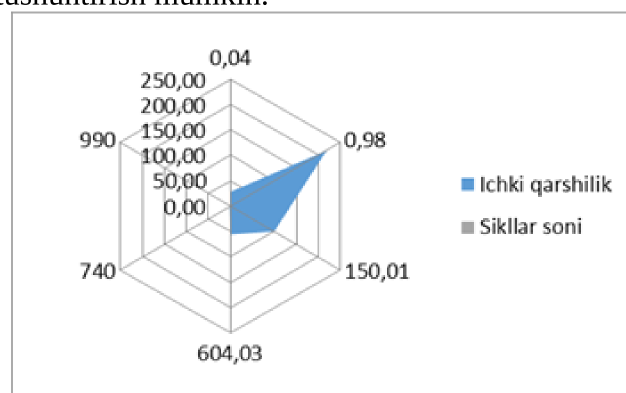
***Kompyuterlashgan CASSY T27/100 seriyali quvvat analizatori yordamida aniqlangan turli konsentratsiyadagi polimer va tuz tutgan elektrolitli sinov batareyasining ichki qarshiliklari***

| Ko‘rsatgichlar | Plastifikator (suyuq elektrolit) ning massa ulushi % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 91 | 79 | 68 | 54 | 42 | 30 |
| Tuzning molyar konsentratsiyasi 0.61 M bo ‘lganda ichki qarshilik, Om | 0,04 | 0,98 | 150,01 | 604,03 | 740 | 990 |
| Sikllar soni, dona | 28 | 219 | 100 | 56 | 2 | 0 |

Elektrolitdagi polimerning massa ulushi ortishi bilan esa uning o‘tkazuvchanligi kamayib boradi, bunga uning kristallanish (shishalanish) haroratining ko‘tarilishi sabab qilib ko‘rsatilgan [19, 20]. Kerakli ion o‘tkazuvchanlikka erishish uchun elektrolitda kerakli miqdorda plastifikatorning bo‘lishi talab etiladi.

*Elektrolit ichki qarshiligining “shuttle” effektiga ta’siri.*

3-rasmda ko‘rsatilganidek, suyuq elektrolit miqdori ortishi bilan polimer elektrolitlarning ion o‘tkazuvchanligi oshadi. 79 wt.% suyuq elektrolit tutgan 0.61 M li $NaClO_4$ tutgan gel elektrolitning ichki qarshiligi 1 Omdan kamayadi. Bu natija ionlarning harakatchanligi va tashuvchi ionlar sonining ortishi bilan bog‘liq. Past miqdorli elektrolitlarda ionlar polimer matritsasining bo‘sh hajmi orqali harakatlanadi, yuqori miqdorlarda esa suyuq fazada tez harakatlanadi. Tez harakatlanish oltingugurtning ion bilan birgalikda katoddan oqib chiqib ketishiga sabab bo‘ladi. Bu esa sikllar sonini keskin tushirib yuboradi (219 dan 12 tagacha). Polimer konsentratsiyasining ortishi bilan sikllar soning kamayishini uning ichki qarshiligining ortishi natijasida elektrolitning haroratini oshishi, elektrolitning anod bilan reaksiyaga kirishuvchanligi ortib ketishi, bu bilan tizim bosimini ortishi, oxir-oqibat dentrit hosil bo‘lishi tezlashishi va katod bilan tez qisqa tutashish sodir bo‘lishi bilan tushuntirish mumkin.




***3-rasm. Ichki qarshilik hamda sikllar soning bog‘liqlik grafigi.***

Chiqindi suvlardan olingan Na-S kompozit katodli Na-SB ishlashi 200 sikldan oshdi.

**Xulosa.** Ushbu ishda, natriy-oltingugurt batareya (Na-SB) lari uchun yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan gel elektrolit ishlab chiqildi. Gelsimon elektrolit nafaqat katodning hajm kengayishiga bardoshli, balki polisulfidlarning “shuttle”effektini ham sezilarli darajada kamaytirdi. Uglerod nanoquvur (CNQ) lari elektronlarning o‘tishini ta’minlovchi o‘tkazuvchan skelet vazifasini bajarib, elektrokimyoviy faol materiallardan samarali foydalanishni ta’minladi.

*Asosiy natijalar:*

Yuqori boshlang‘ich quvvat sig‘imi: Na-S katodi 0.1C - 3C aralash tezlikda, har sikl orasida 5 minutdan tanaffus davri bilan, 180 mAh/g nominal solishtirma sig‘imni namoyish etdi. P(AN-co-MA) asosidagi plastifikatsiyalangan polimer elektrolitlar 0.98 Om ichki qarshilik, mexanik barqarorlik va natriy elektrodlari bilan yaxshi moslashuvchanlikni namoyish etdi. Ushbu elektrolit uchun ishlab chiqilgan sopolimerning bo‘kkan va quruq holat-

dagisining, qolaversa, tijoratlashtirilgan poliakrilonitrilning sirt yuzasi tasviri oltin purkalgan holda aniq tasvirlandi, sirtlari boʻylab elementlar tarqalishi aniqlandi. Bunda plastifikatsiyalanganda nitril guruhining sirt yuzaga chiqishi aniqlandi. Bu elektrolitlar Na-SBs ning koʻp siklli ishlashini ta'minlashda va kelajakda litiy-ion, hamda natriy-ion batareyalar oʻrnini egallashida muhim rol oʻynaydi.

**Minnatdorchilik:** Xitoy Respublikasining Shimoliy Xitoy Texnologiya Universiteti va Pekin Fan va Texnologiya Universiteti professor-oʻqituvchilari Prof. WenCheng Li hamda Dr. Keqi Wu larga instrumental tahlillarni amalga oshirishda amaliy yordam berganliklari uchun minnatdorchilik bildiramiz.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR ROʻYXATI

1. Juraev , N., Mukhtorov , N., & Khakimov , F. (2024). ADVANCEMENTS IN TECHNOLOGIES FOR AIR POLLUTION MITIGATION. Академические исследования в современной науке, 3(41), 174–180. Retrieved from https://inlibrary.uz/index.php/arims/article/view/49744
2. Khakimov F. S., Mukhtorov N. S., Maksumova O. S. Environmentally friendly synthesis route of terpolymers derived from alkyl acrylates and their performance as additives for liquid hydrocarbon products //Journal of Polymer Research. – 2020. – Т. 27. – №. 10. – С. 304.
3. Farrukh K., Shakhnozakhon K., Oytura M. TECHNOLOGICAL REVIEW FOR USING POLYACRYLIC MEMBRANES IN FLUE GAS UTILIZATION //Universum: технические науки. – 2021. – №. 10-5 (91). – С. 59-64.
4. Хакимов Ф. Ш. и др. СОЗДАНИЕ БЕЗОТХОДНЫХ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР) //Кислород. – Т. 2. – №. 209,460. – С. 20.946.
5. Khakimov F., Khamdamova S. S. LOCAL ELECTROLYTE FROM DEFOLIANT-DESICCANT //Education. – 2017. – Т. 2017.
6. Xakimov F.Sh., O.Z.Turgʻunov, Sh.Sh.Xamdamva, O.S. Maksumova, Suv qattiqligining batareya qayta zaryadlanishiga ta'siri, Химическая технология и экология, Scientific-technical journal (STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, 2023,Т.27. спец.выпуск №16, -b. 192-196.
7. J.B. Goodenough, Y. Kim, Challenges for rechargeable Li batteries, Chem. Mater. 22 (3) (2010) 587–603, https://doi.org/10.1021/cm901452z
8. A. Manthiram, Y.Z. Fu, Y.S. Su, Challenges and prospects of lithium-sulfur batteries, Accounts Chem. Res. 46 (5) (2013) 1125–1134, https://doi.org/10.1021/ar300179v
9. R.P. Fang, S.Y. Zhao, Z.H. Sun, W. Wang, H.M. Cheng, F. Li, More reliable lithiumsulfur batteries: status, solutions and prospects, Adv. Mater. 29 (48) (2017) 25, https://doi.org/10.1002/adma.201606823
10. L.L. Fan, N.P. Deng, J. Yan, Z.H. Li, W.M. Kang, B.W. Cheng, The recent research status quo and the prospect of electrolytes for lithium sulfur batteries, Chem. Eng. J. 369 (2019) 874–897, https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.145
11. Y.B. He, Z. Chang, S.C. Wu, H.S. Zhou, Effective strategies for long-cycle life lithium-sulfur batteries, J. Mater. Chem. A 6 (15) (2018) 6155–6182, https://doi.org/10.1039/c8ta01115j
12. X. Zhu, Y. Ouyang, J. Chen, X. Zhu, X. Luo, F. Lai, H. Zhang, Y.-E. Miao, T. Liu, In situ extracted poly(acrylic acid) contributing to electrospun nanofiber separators with precisely tuned pore structures for ultra-stable lithium–sulfur batteries, J. Mater. Chem. A 7 (7) (2019) 3253–3263, https://doi.org/10.1039/C8TA11397A
13. X. Luo, X. Lu, G. Zhou, X. Zhao, Y. Ouyang, X. Zhu, Y.-E. Miao, T. Liu, Ion-selective polyamide acid nanofiber separators for high-rate and stable lithium–sulfur batteries, ACS Appl. Mater. Interfaces 10 (49) (2018) 42198–42206, https://doi.org/10.1021/acsami.8b10795

14. J. Yu et al., Dense and thin coating of gel polymer electrolyte on sulfur cathode toward high performance Li-sulfur battery, Composites Communications 19 (2020) 239–245, https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.04.015
15. F.Sh. Xakimov, Sh.Sh. Xamdamova, O.S Maksumova, S.R. Mirsalimova, Neft-gazni qayta ishlash korxonalaridan chiqayotgan oltingugurt-ishqoriy kanalizatsiya suvini tozalash, O‘ZBEKISTON NEFT VA GAZ ILMIY-TEXNIKA JURNALI, 1/2025, 78-96
16. https://batteryuniversity.com/article/how-does-internal-resistance-affect-performance
17. https://learn.sparkfun.com/tutorials/measuring-internal-resistance-of-batteries/internal-resistance
18. Poutnik (https://physics.stackexchange.com/users/97690/poutnik), Inverse relationship between salinity and conductivity?, URL (version: 2023-10-03): https://physics.stackexchange.com/q/782911
19. O.V. Lonchakova, O.A. Semenikhin, et al., Electrochimica Acta, Volume 334, 135512, ISSN 0013-4686. (2020) https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135512
20. K. Vijaya Kumar et al /Int.J. ChemTech Res.2014,6(13),pp 5214-5219.